

## Pengaruh Tekanan Injeksi Gas Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Efisiensi Termal pada Mesin Diesel *Dual Fuel*

Dori Yuvenda<sup>1\*</sup>, Bambang Sudarmanta<sup>2</sup>, Randi Purnama Putra<sup>1</sup>, Martias<sup>1</sup>,  
Erzeddin Alwi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

\*Corresponding author, e-mail: [doriyuvenda@rocketmail.com](mailto:doriyuvenda@rocketmail.com)

**Abstrak**— Penggunaan compressed natural gas (CNG) sebagai bahan bakar utama pada mesin diesel menyebabkan penurunan performa mesin terutama pada efisiensi termal. Hal ini dikarenakan peningkatan daya mesin yang dikonversi melalui proses pembakaran tidak sebanding dengan penambahan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar seiring dengan penambahan beban mesin. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan tekanan injeksi gas CNG yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar melalui *port (intake manifold)* dapat menurunkan konsumsi bahan bakar dan meningkatkan efisiensi termal pada mesin *diesel dual fuel* (DDF). Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen pada mesin DDF Diamond DI 800 dengan putaran konstan (1500 rpm). Variasi yang dilakukan adalah mengatur tekanan injeksi gas CNG yang masuk melalui *port* sebesar 1,5 bar, 2 bar dan 2,5 bar. Hasil yang diperoleh adalah pada tekanan injeksi gas CNG 2,5 bar dapat memberikan persentase substitusi gas CNG rata rata sebesar 57,59%, sedangkan pada tekanan injeksi gas CNG 1,5 bar dapat menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik ( $SFC_{dual}$ ) hingga sebesar 0,196 kg/HP.jam dan meningkatkan efisiensi termal rata-rata sebesar 3,57% dibandingkan dengan variasi lain, meskipun masih di bawah kondisi operasi mesin *single fuel*.

Kata Kunci : Tekanan injeksi gas CNG, diesel dual fuel, persentase substitusi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal

**Abstract**— The use of Compressed natural gas (CNG) as the main fuel in diesel engines causes a decrease in engine performance, especially in thermal efficiency. This is because the increase in engine power that is converted through the combustion process is not proportional to the addition of the amount of fuel entering the combustion chamber along with the addition of engine load. The purpose of this research is how to optimize CNG injection pressure injected into the combustion chamber through the port (intake manifold) can decrease of fuel consumption and increase of thermal efficiency in diesel dual fuel engines (DDF). This research method was carried out experimentally on DI 800 Diamond DDF engine with constant rotation (1500 rpm). The variation made is to regulate the CNG injection pressure that enters the port manifold by 1.5 bars, 2 bars and 2.5 bars. The results obtained at 2.5 bar CNG injection pressure can provide an average percent energy substitution of 57.59%, while at 1.5 bar CNG injection pressure can reduce specific fuel consumption ( $SFC_{dual}$ ) up to 0.196 kg /HP.h and increased the thermal efficiency by an average of 3.57% compared to other variations, even though it is still under the operating conditions of a single fuel engine.

Keywords : CNG injection pressure, diesel dual fuel, specific fuel consumption thermal efficiency.



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2019 by Author and Universitas Negeri Padang

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil saat ini terus meningkat seiring dengan bertambahnya pengguna kendaraan bermotor terutama di Indonesia, sedangkan cadangan bahan bakar fosil akan terus berkurang. Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil pada kendaraan, diantaranya adalah memodifikasi aliran masuk udara sehingga menghasilkan campuran yang lebih homogen dengan penambahan pengganggu pada saluran masuk [1][2], serta mengoptimalkan sistem pendinginan pada mesin pembakaran dalam [3], akan tetapi upaya ini belum maksimal. Salah satu metode yang sangat efektif adalah penggunaan bahan bakar alternatif seperti gas alam, biogas, biodiesel dan etanol. Bahan bakar alternatif yang banyak digunakan saat ini adalah gas CNG. Bahan bakar CNG dikombinasikan dengan bahan bakar fosil, dengan harapan bisa menggantikan bahan bakar fosil seratus persen. Gas CNG bisa dimanfaatkan pada mesin pembakaran dalam terutama mesin diesel.

Penggunaan gas CNG pada mesin diesel yang diistilahkan dengan *diesel dual fuel* (DDF) sudah banyak dilakukan peneliti sebelumnya. Dimana gas CNG digunakan sebagai bahan bakar utama. Hal ini dikarenakan karakteristik dari bahan bakar CNG yang memiliki *auto-ignition temperature* yang tinggi ( $\pm 650^{\circ}\text{C}$ ) [4], sehingga cocok digunakan pada mesin yang memiliki perbandingan kompresi yang tinggi. Penggunaan gas CNG sebagai bahan bakar utama pada mesin diesel masih menimbulkan permasalahan yaitu penurunan efisiensi termal mesin diesel [5] [6], dan peningkatan emisi gas buang hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO). Hal ini dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna sehingga banyak bahan bakar yang tidak terbakar sehingga energi yang dilepaskan menjadi lebih sedikit.

Dalam mengatasi permasalahan tersebut beberapa penelitian yang terkait sudah banyak dilakukan diantaranya adalah mengatur jumlah gas yang masuk ke ruang bakar [7], mengatur waktu dan durasi injeksi gas CNG [8] serta tekanan gas CNG yang masuk ke ruang bakar dengan menggunakan kontrol elektronik [9]. Dari upaya yang telah dilakukan tersebut dapat meningkatkan efisiensi termal dan substitusi gas CNG pada mesin *diesel dual fuel*. Dari upaya penelitian yang telah dilakukan di atas dapat kita simpulkan bahwa dengan menaikkan tekanan injeksi gas CNG dapat meningkatkan performa pada mesin *diesel dual fuel*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi termal dan substitusi gas

CNG pada mesin DDF dengan menvariasikan tekanan injeksi gas CNG pada *port* pada *intake manifold* dengan menggunakan sistem kontrol elektronik.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Diesel Dual Fuel (DDF)

Mesin *diesel dual fuel* adalah mesin yang menggunakan bahan bakar ganda, dimana gas CNG digunakan sebagai bahan bakar utama sedangkan bahan bakar solar digunakan sebagai pematik (*pilot diesel*).

Mesin diesel dimodifikasi menjadi mesin DDF dengan menambahkan sistem bahan bakar gas. Beberapa teknologi sudah dikembangkan dalam sistem pemasukan gas pada mesin DDF.

Saat ini teknologi yang berkembang pada sistem pemasukan *dual fuel* adalah

1. Model *mixer/blender* yang berbentuk venturi sehingga gas yang masuk berdasarkan kevakuman pada langkah hisap ketika katup masuk terbuka. Model ini biasanya lebih banyak digunakan pada gas yang tidak bertekanan seperti gas hasil dari gasifikasi [10]. Bahan bakar gas dimasukkan melalui saluran masuk udara (*intake manifold*). Teknologi ini sangat sederhana sehingga tidak membutuhkan biaya yang besar. Kekurangan dari sistem ini adalah dapat mengganggu suplai udara sehingga menyebabkan pasokan udara berkurang.
2. Model *port injection* dimana gas diinjeksikan menggunakan injektor gas melalui *port intake manifold* pada saat langkah hisap. Model sistem ini menggunakan gas yang bertekanan rendah yang diatur menggunakan sistem elektronik (ECU) sehingga pemasukan gas dapat dikontrol sesuai dengan keinginan [5][6]. Keuntungan sistem ini adalah waktu dan lama penginjeksian bahan bakar bisa kita atur sesuai dengan keinginan. Dengan demikian jumlah dari gas CNG yang disubsitusikan ke ruang bakar dapat ditentukan.
3. Model *direct injection* dimana gas diinjeksikan langsung ke ruang bakar pada akhir langkah kompresi menggunakan injektor gas yang materialnya berkualitas bagus. Model sistem ini menggunakan gas yang bertekanan tinggi yang diatur menggunakan sistem elektronik (ECU) sehingga pemasukan gas dapat dikontrol sesuai dengan keinginan [11]. Kekurangan sistem ini adalah membutuhkan biaya karena bahan material dari injektor gas yang harus bagus dan tahan terhadap temperatur tinggi.

Penelitian ini menggunakan sistem *port injection* menggunakan gas CNG dengan tekanan

injeksi rendah.

#### B. Pesentase Substitusi Energi

Persentase dari substitusi energi (PES) adalah nilai persentase dari gas CNG untuk menggantikan bahan bakar solar dalam satuan persen. PES dari bahan bakar solar yang digantikan oleh gas CNG dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$PES = \frac{\dot{m}_{CNG} LHV_{CNG}}{\dot{m}_D LHV_D + \dot{m}_{CNG} LHV_{CNG}} \times 100\% \quad (1)$$

#### C. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Dual (SFC<sub>dual</sub>)

Pemakaian bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif satu HP selama satu jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar (kg) dalam waktu (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar (HP) maka pemakaian bahan bakar per jam adalah:

$$\dot{m} = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \quad (\text{kg/jam}) \quad (2)$$

sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$SFC = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{Ne \cdot s} \quad (\text{kg/HP.jam}) \quad (3)$$

untuk penggunaan dua bahan bakar pada mesin DDF, besar pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$SFC_{dual} = \frac{\dot{m}_{CNG} + \dot{m}_s}{Ne} \quad (\text{kg/HP.jam}) \quad (4)$$

dimana  $m_{bb}$  adalah massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin (kg),  $\dot{m}_{CNG}$  adalah pemakaian bahan bakar gas CNG per jam (kg/jam),  $\dot{m}_s$  adalah pemakaian bahan bakar minyak solar per jam (kg/jam),  $s$  adalah waktu konsumsi bahan bakar (detik).

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai SFC dipengaruhi oleh laju aliran bahan bakar dan daya mesin. Peningkatan laju aliran dan daya mesin disebabkan oleh penambahan beban mesin. Dengan kata lain bahwa penambahan beban akan menyebabkan nilai SFC akan semakin rendah dan nilai SFC akan naik kembali pada saat beban maksimum (*full load*), karena mesin lebih efektif mengkonsumsi bahan bakar.

#### D. Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\text{Energi panas bahan bakar / satuan waktu}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\eta_{th} = \frac{632}{sfc \cdot LHV} \times 100\% \quad (6)$$

Untuk efisiensi termal mesin *diesel dual fuel* yang menggunakan bahan bakar gas CNG-solar, persamaannya adalah:

$$\eta_{th\,dual} = \frac{Ne}{\dot{m}_{solar} \cdot LHV_s + \dot{m}_{CNG} \cdot LHV_{CNG}} \times 100\% \quad (7)$$

dimana LHV adalah nilai kalor bawah (*low heat value*) atau panas pembakaran bahan bakar [kkal/kg bahan bakar].

Dari persamaan di atas menjelaskan bahwa peningkatan efisiensi termal dipengaruhi oleh penambahan daya mesin.

### III. METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian dilakukan pada mesin diesel Diamond DI 800 satu silinder yang dimodifikasi menjadi mesin *diesel dual fuel* dengan menggunakan bahan bakar solar-CNG. Spesifikasi mesin diesel terlihat pada tabel 1. Gas CNG sebagai bahan bakar utama sedangkan bahan bakar solar sebagai *pilot diesel* (pematik). Properties bahan bakar yang digunakan terlihat pada tabel 2 [4].

Tabel 1. Spesifikasi mesin Diamond DI 800

Item	Spesification
Merk	Diesel Diamond
Type	Di 800
Model	1 Silinder Diesel 4 langkah
Bore x Stroke	82 mm x 78 mm
Displacement	411 cc
Max. Power	8 HP (6 KW) / 2400 rpm
Continous Power	7 HP (5.22 KW)/2200 rpm
Compression Ratio	18:1
Cooling sistem	Hopper/ Condenser
Lube capacity	1,8 liter

Tabel 2. Karakteristik bahan bakar

Porpertis	Diesel	CNG
Low heating value (MJ/kg)	42,8	48,6
Cetane number	52,5	-
Octane number	-	130
Auto-ignition temperature (°C)	316	650
Stoichiometric air–fuel ratio (kg/kg)	14,69	17,2
Carbon content (%)	87	75

Pada penelitian ini mengetahui pengaruh tekanan injeksi gas CNG terhadap konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal pada mesin *diesel dual fuel*. Model pemasukan gas CNG menggunakan tipe *port injection*. Gas CNG diinjeksikan 45° ATDC pada langkah hisap ketika katup masuk terbuka dan akhir dari langkah buang. Skema penelitian *diesel dual fuel* dapat dilihat pada

gambar 1. Sistem pemasukan bahan bakar pilot diesel menggunakan konvensional sedangkan untuk pemasukan gas CNG menggunakan sistem kontrol elektronik (ECU). Tekanan gas CNG diturunkan menggunakan *pressure reducer adaptive* [7] dari tekanan 250 bar menjadi tekanan kerja sesuai dengan variasi tekanan yang ditentukan.

Mesin uji terkopel dengan *electrical dynamometer* menggunakan lampu untuk beban mesin dengan kapasitas setiap lampu adalah 500 watt. Setiap beban lampu yang dihasilkan akan dicatat nilai tegangan (V) dan kuat arus (I) yang dihasilkan, sehingga dapat dikonversi menjadi daya mesin. Waktu konsumsi bahan bakar diesel diukur menggunakan *burret meter* dengan kapasitas 25 ml dalam satuan waktu (detik) untuk memperoleh nilai *mass flow rate* solar. *Mass flow rate* gas CNG diukur dengan menggunakan manometer digital dengan ketelitian  $\pm 0,001$ .

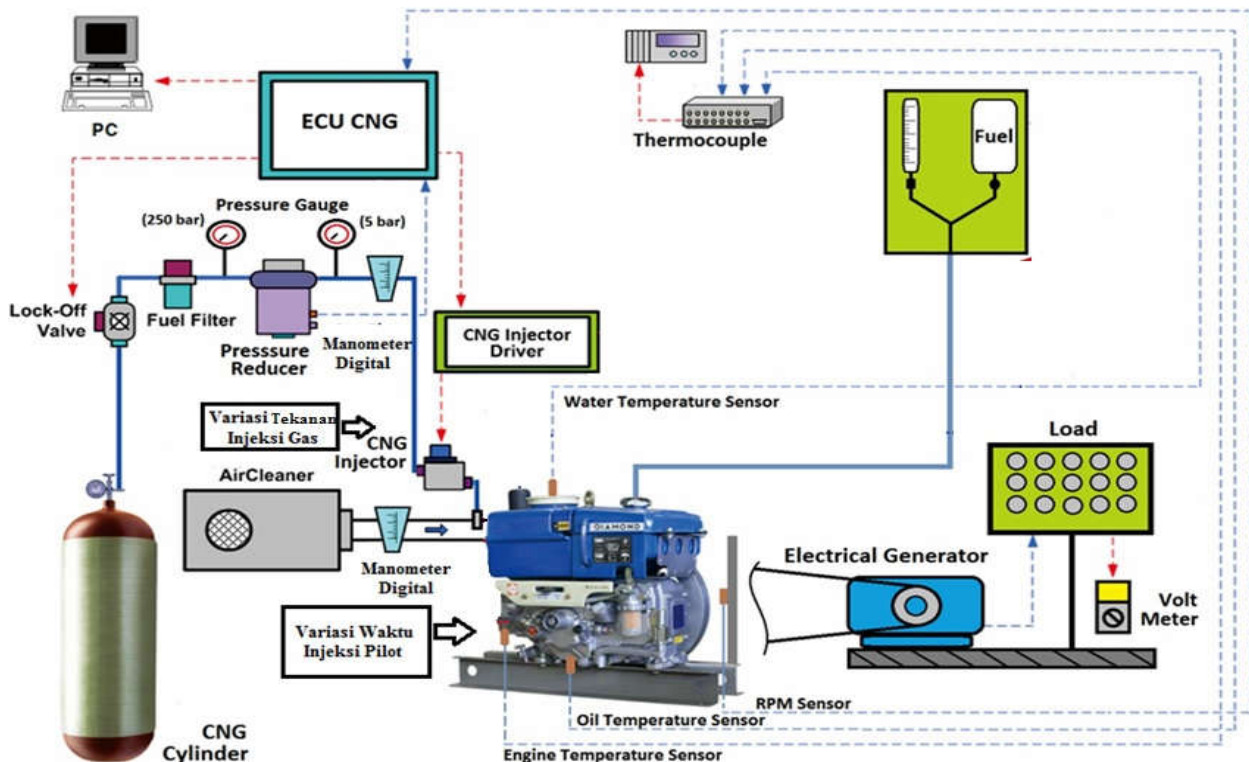
Sebelum pengujian di mulai mesin dipanaskan selama 30 menit sampai kondisi mesin mencapai temperatur kerja  $80^{\circ}\text{C}$ . Pengujian dilakukan pada temperatur lingkungan  $25^{\circ}\text{C}$ . Prosedur pengujian

dilakukan dua tahap. Tahap pertama, pengujian standar pada mesin diesel dengan menggunakan satu bahan bakar (*singel fuel*). Variabel ini digunakan sebagai variabel kontrol. Tahap kedua, pengujian pada mesin *diesel dual fuel* dengan variasi tekanan injeksi gas CNG. Tekanan injeksi gas CNG divariasikan pada tekanan kerja yaitu 1,5-2,5 bar dengan interval 0,5 bar pada pembebanan yang berbeda dengan putaran konstan 1500 rpm pada waktu injeksi pilot diesel  $13^{\circ}$  BTDC seperti yang terlihat pada tabel 3.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data secara statistik menggunakan metode *true experimental method*. Data yang diperoleh digambarkan dalam bentuk grafik dan dideskripsikan dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca, dipahami dan dipresentasikan sebagai jawaban atas permasalahan yang diteliti.

Tabel 3. Rancangan penelitian

Beban (watt)	Putaran (rpm)	Tekanan Injeksi Gas CNG (bar)
500-4000 interval 500	1500	1,5 2 2,5



Gambar 1. Skema penelitian mesin *diesel dual fuel* (DDF)

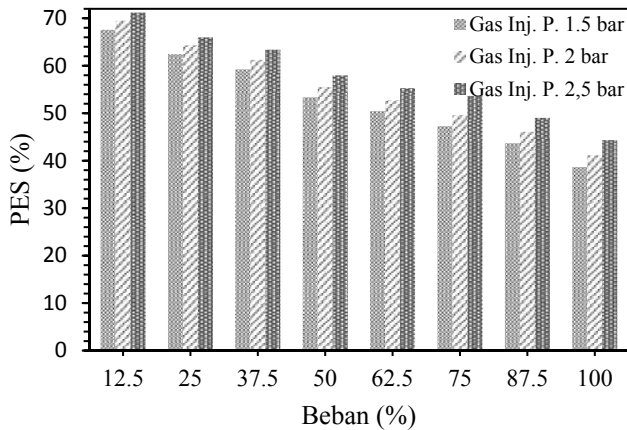
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pengaruh Gas Injection Pressure terhadap Persentase Substitusi Energi (PES).

Persentase substitusi energi (PES) menurun seiring dengan penambahan beban pada semua variasi tekanan injeksi gas CNG seperti pada gambar 2. Hal ini dikarenakan semakin besar beban



yang diberikan sehingga untuk mempertahankan putaran konstan maka governor sentrifugal akan menambah jumlah bahan solar sedangkan untuk *mass flow rate* gas CNG konstan. Akan tetapi, persentase substitusi energi meningkat ketika tekanan injeksi gas CNG ditambah.



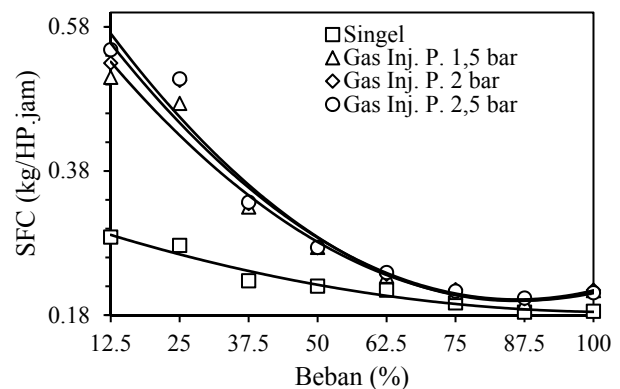
Gambar 2. Grafik PES fungsi beban

Pada tekanan injeksi gas CNG 2,5 bar dapat meningkatkan persentase substitusi CNG rata-rata sebesar 9,03% dari tekanan injeksi CNG 1,5 bar, sedangkan apabila dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar saja (*single fuel*) dapat mensubstitusi gas CNG rata-rata sebesar 57,59% pada semua pembebanan. Hal ini membuktikan bahwa dengan menambah tekanan injeksi gas CNG dapat meningkatkan jumlah gas CNG yang masuk ke ruang bakar sehingga dapat menggantikan bahan bakar diesel lebih banyak. Oleh karena itu, salah satu upaya untuk meningkatkan substitusi gas CNG untuk menggantikan bahan bakar solar adalah dengan menaikkan tekanan gas CNG yang masuk ke ruang bakar.

#### B. Pengaruh Gas Injection Pressure terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Dual ( $SFC_{dual}$ ).

Konsumsi bahan bakar spesifik mesin *diesel dual fuel* menurun seiring dengan penambahan beban pada semua variasi tekanan injeksi gas CNG seperti gambar 3. Hal ini dikarenakan, saat penambahan beban akan terjadi peningkatan daya sehingga mesin lebih banyak membutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan daya efektif. Umumnya  $SFC_{dual}$  lebih besar dibandingkan dengan  $SFC_{singel}$ , terutama pada beban rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan bahan bakar gas masih jelek dikarenakan temperatur gas CNG yang rendah dan perbandingan udara dan bahan bakar yang tidak ideal sehingga menyebabkan laju pembakaran yang lebih lambat, sebagaimana yang dijelaskan penelitian sebelumnya [12] [13].

Penurunan  $SFC_{dual}$  signifikan terjadi pada beban tinggi yaitu 87,5% pada tekanan gas CNG 1,5 bar sebesar 0,196 kg/HP.jam. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan pemanfaatan gas menjadi lebih baik dengan penambahan bahan bakar solar oleh governor sentrifugal sehingga campuran bahan bakar gas dan solar lebih homogen sehingga laju pembakaran lebih cepat akibatnya berpengaruh terhadap peningkatan daya mesin sehingga mesin lebih efektif dalam mengkonsumsi bahan bakar, tetapi konsumsinya lebih tinggi dari  $SFC_{singel}$  karena nilai LHV dari gas yang lebih tinggi dari solar, sebagaimana yang dijelaskan penelitian sebelumnya [13]. Begitu juga dengan pembebanan dinaikkan menjadi 100% terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar pada semua variasi tekanan injeksi gas CNG. Hal ini disebabkan karena peningkatan daya yang dihasilkan tidak sebanding dengan penambahan jumlah laju aliran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akibat pembakaran tidak sempurna karena campuran yang cenderung lebih kaya.

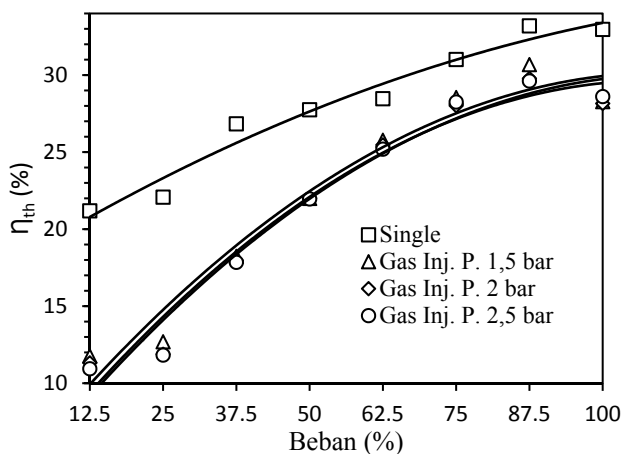


Gambar 3. Grafik  $SFC_{dual}$  fungsi beban

#### C. Pengaruh Gas Injection Pressure terhadap Efisiensi Termal.

Efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) meningkat seiring dengan penambahan beban pada semua variasi tekanan injeksi gas CNG seperti gambar 4. Efisiensi termal maksimum terjadi pada pembebanan 87,5% pada tekanan injeksi gas CNG 1,5 bar sebesar 30,67%, dengan peningkatan efisiensi termal dibandingkan dengan variasi tekanan injeksi gas CNG 2,5 bar sebesar 3,57%, meskipun nilai efisiensi termal mesin DDF masih di bawah mesin *single fuel*. Hal ini dikarenakan terdapat hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik ( $SFC_{dual}$ ) dengan nilai efisiensi termal yang dihasilkan. Pada saat  $SFC_{dual}$  turun hingga nilai minimal maka efisiensi termal naik sampai bernilai maksimum, yang menggambarkan bahwa dengan naiknya efisiensi

termal maka semakin banyak bahan bakar yang terbakar yang dapat dikonversi menjadi daya selama proses pembakaran. Saat nilai  $SFC_{dual}$  naik kembali maka nilai efisiensi termal menjadi turun yang mengindikasikan semakin banyak bahan bakar yang tidak terbakar akibat dari kekurangan oksigen sehingga tidak dapat dikonversi menjadi daya mesin pada saat proses pembakaran berlangsung di ruang bakar.



Gambar 4. Grafik efisiensi termal fungsi beban

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

Menaikkan tekanan injeksi gas CNG 2,5 bar ke dalam ruang bakar dapat meningkatkan persentase sibtitusi energi (PES) gas CNG dalam menggantikan bahan bakar solar sebesar 57,59% pada mesin *diesel dial fuel* model *port injection*.

Konsumsi bahan bakar spesifik ( $SFC_{dual}$ ) pada mesin *diesel dual fuel* terjadi penurunan yang signifikan pada beban tinggi (87,5%) sebesar 0,196 kg/HP.jam pada tekanan injeksi gas CNG 1,5 bar.

Efisiensi termal pada mesin *diesel dual fuel* meningkat mencapai sebesar 30,67% pada tekanan injeksi gas CNG 1,5 bar di bawah beban tinggi (87,5%).

## DAFTAR PUSTAKA

[1] Putra, Randi Purnama, Sutardi, and Wawan Aries Widodo. "The study on the effect of inlet disturbance body insertion on the flow pressure drop in a 90° square elbow." In AIP Conference Proceedings, vol. 1983, no. 1, p. 020016. AIP Publishing, 2018.

[2] W. A. Widodo and R. P. Putra, "Reduction of Drag Force on a Circular Cylinder and Pressure

Drop Using a Square *Cylinder* as Disturbance Body in a Narrow Channel," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 493, pp. 192–197, 2014.

- [3] N. Hidayat, T. Sugiarto, and D. Yuvenda, "Optimization of Effectiveness in Radiator Straight Fin Type with Flat Tube Angle Variation," 2017, no. October, pp. 13–15.
- [4] B. Yang, X. Wei, C. Xi, Y. Liu, K. Zeng, and M. C. Lai, "Experimental study of the effects of natural gas injection timing on the combustion performance and emissions of a turbocharged common rail dual-fuel engine," *Energy Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 297–304, 2014.
- [5] D. Yuvenda, "Karakterisasi Performa Mesin Sistem Dual Fuel Menggunakan Pressure Reducer Adaptive dengan Variasi Konstanta (K) Pegas Helix Tekan Dan Tekanan," 2015, no. 2014, pp. 1–8.
- [6] A. Arif *et al.*, "Karakterisasi Performa Mesin Diesel Dual Fuel Solar-Cng Tipe Lpig Dengan Pengaturan," 2015, no. 2013, pp. 1–8.
- [7] D. Yuvenda, B. Sudarmanta, and E. Alwi, "Analisis Kekuatan Pegas Pressure Reducer Sebagai Penurunan Tekanan Pada Mesin Duel Fuel," vol. 17, no. 2, 2017.
- [8] Z. Wisnu, "Injection Dan Durasi Pemasukan Bahan Bakar Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Start Of Injection Dan Durasi Pemasukan Bahan Bakar Compressed Natural Gas Terhadap Performa Mesin Diesel Sistem Dual Fuel," 2017, no. January 2016.
- [9] D. Yoko and B. Sudarmanta, "Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Sistem Dual Fuel Solar - Gas CNG dengan Variasi Tekanan Injeksi Gas dan Derajat Waktu Injeksi," 2016, vol. 5, no. 2, pp. 604–609.
- [10] B. Sudarmanta, "The Performance Of Fossil Diesel-Syn Gas Dual Fuel Compression Ignition Engine for 3 KW."
- [11] G. P. McTaggart-Cowan, S. N. Rogak, P. G. Hill, S. R. Munshi, and W. K. Bushe, "The effects of fuel dilution in a natural-gas direct-injection engine," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.*, vol. 222, no. 3, pp. 441–453, Mar. 2008.
- [12] R. G. Papagiannakis and D. T. Hountalas, "Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas," vol. 45, pp. 2971–2987, 2004.
- [13] R. G. Papagiannakis and D. T. Hountalas, "Experimental investigation concerning the effect of natural gas percentage on performance and emissions of a DI dual fuel diesel engine," vol. 23, pp. 353–365, 2003.

---

**Biodata Penulis**

**Dori Yuvenda**, lahir di Bukittinggi, 1 Nopember 1988. Sarjana Pendidikan Teknik Otomotif dari Universitas Negeri Padang, lulus 2013. Tahun 2015 memperoleh gelar Magister Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Otomotif FT UNP sejak tahun 2015- sekarang.

**Bambang Sudarmanta**, lahir di Nganjuk, 16 Januari 1973. Sarjana Teknik Mesin dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, lulus 1995. Tahun 2003 memperoleh gelar Magister Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Tahun 2008 memperoleh gelar Doktor di Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Staf pengajar pada Departemen Teknik Mesin FTI ITS Surabaya.

**Randi Purnama Putra**, lahir di Padang, 28 Juli 1988. Sarjana Pendidikan Teknik Otomotif dari Universitas Negeri Padang, lulus 2011. Tahun 2013 memperoleh gelar Magister Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Otomotif FT UNP sejak tahun 2013- sekarang.

**Martias**, lahir di Ladang Lawas, 1 Agustus 1964. Sarjana Teknik Otomotif dari Universitas Negeri Padang, lulus 1992. Tahun 2010 memperoleh gelar Magister Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Kejuruan Universitas Negeri Padang, Padang. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Otomotif FT UNP.

**Erzeddin Alwi**, lahir di Bukittinggi, 3 Maret 1960. Sarjana Teknik Otomotif dari Universitas Negeri Padang, lulus 1985. Tahun 2010 memperoleh gelar Magister Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Kejuruan Universitas Negeri Padang, Padang. Staf pengajar pada Jurusan Teknik Otomotif FT UNP.

